

Ю. В. Головка

РОЗПОДІЛ ДОМІШОК В ПРОЦЕСІ ВИРОЩУВАННЯ МОНОКРИСТАЛІВ КРЕМНІЮ

У статті на підставі експериментальних досліджень і розроблених математичних моделей показано, що величина ефективного коефіцієнта розподілу домішки вуглецю зменшується при нагродженні вуглецю в розплаві в процесі кристалізації

Ключові слова: кремній, домішка, ефективний коефіцієнт розподілу

1. Вступ

Дослідження, про які йдеться у доповіді, відносяться до галузі матеріалознавства й технології напівпровідникових матеріалів. Відродження в Україні виробництва кремнію для мікроелектроніки та сонячної енергетики передбачає вирішення низки завдань, пов'язаних з пошуком оптимальних технологічних режимів вирощування його монокристалів, що забезпечують задані рівні концентрацій основних домішок. Вирішення цих завдань дає можливість підвищити якість монокристалів кремнію та забезпечити конкурентоспроможність цього продукту високих технологій на світовому ринку. Тому дослідження, про які йдеться в доповіді, є актуальними.

2. Постановка проблеми

Для управління концентраціями домішок в монокристалі кремнію необхідно знати коефіцієнти їх розподілу між рідкою та твердою фазами кремнію під час кристалізації. Проблемою є неможливість використання літературних даних щодо значень цих коефіцієнтів, тому що вони сильно залежать від параметрів конкретного процесу вирощування монокристала.

3. Основна частина

3.1. Аналіз літературних джерел по темі дослідження

Для експериментального визначення величини ефективного коефіцієнта розподілу домішки k при спрямованій кристалізації з розплавів широко використовується аналітичний вираз

$$N_{me} = k N_0 (1 - g)^{k-1}, \quad (1)$$

де N_{me} – концентрація домішки в тій частині твердої фази, що контактує з рідкою фазою, см^{-3} ;

N_p – середня по об'єму концентрація тієї ж домішки в рідкій фазі (розплав), см^{-3} ; g – частка розплаву, що вже закристалізувалася на даній стадії процесу кристалізації.

В роботі [1] вперше було показано, що функція (1) є неоднозначною, тож рівняння (1) має два кореня – k_1 та k_2 . Для $g = 0,6$ розрахунок за (1) дає два співставні значення k для одного експериментального значення співвідношення між концентраціями домішки в кристалі й вихідному розплаві N_{me}/N_0 . Виникає проблема фізичного обґрунтування вибору одного із двох одержуваних з розрахунку значень k . Однак природа кристала й домішок для обох значень k однакові, тому існування двох можливих значень коефіцієнта розподілу для однієї конкретної системи не має фізичного пояснення й обумовлено наближеним характером рівняння (1).

В роботі [1] запропонований новий підхід до визначення реальної величини ефективного коефіцієнта розподілу домішки, що ґрунтується на математичному моделюванні масообміну домішки в процесі кристалізації. Для кожної з найважливіших домішок в монокристалічному кремнії (легуючих – бор і фосфор, фонових – кисень і вуглець) були складені рівняння балансу домішки в процесі вирощування монокристала. На їх основі були побудовані математичні моделі розподілу кожної з цих домішок [1-5].

Отримані в роботах [1-5] математичні моделі дозволяють визначити реальне для промислових умов вирощування монокристалів кремнію значення ефективного коефіцієнта розподілу кожної домішки.

3.2. Результати досліджень

Досліджений монокристал кремнію, легований бором, що був вирощений за методом Чохральського в промислових умовах в установці типу «Редмет – 30» з використанням енергозберігаючого теплового вузла [6] в атмосфері аргону. Кристалографічна орієнтація монокристала – $\langle 100 \rangle$,

діаметр - 135,0 мм.

У рамках проведених досліджень було показано, що величина як концентрації, так і ефективного коефіцієнта розподілу домішок бору та вуглецю змінюються на протязі процесу кристалізації кремнію (рис. 1).

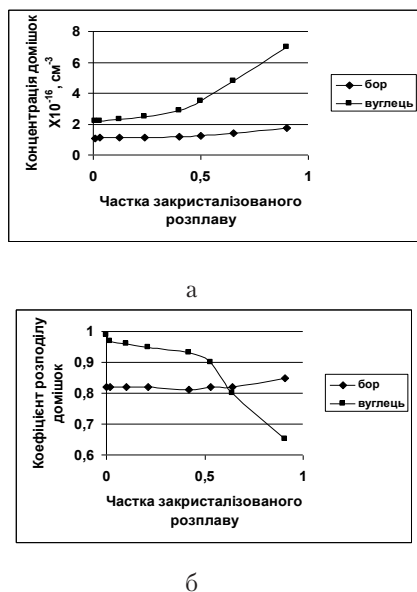


Рис.1. Графіки залежностей $N_{mv} = f(g)$ та $k = f(g)$ домішок бору та вуглецю в процесі вирощування монокристалу кремнію за методом Чохральського а – концентрація; б – величина ефективного коефіцієнта розподілу

Значення ефективного коефіцієнта розподілу домішок (рис. 1,б) розраховані за моделями, розробленими в [1, 2, 5, 7] по експериментальним значенням концентрації N_{mv} та g (рис. 1,а). З порівняння даних рис. 1,а і рис. 1,б видно, що помітні зміни величин ефективного коефіцієнта розподілу домішки вуглецю починаються з моменту кристалізації приблизно половини розплаву ($g \approx 0,5$), коли спостерігається і суттєве збільшення його концентрації.

3.3. Висновки

За експериментальними даними показано, що значення величини ефективного коефіцієнта розподілу вуглецю в кремнії зменшується в міру нагромадження вуглецю в розплаві в процесі кристалізації. Отримані результати дозволяють внести корективи в програму процесу вирощування монокристалів кремнію за методом Чохральського, спрямовані на зниження концентрації вуглецю в монокристаллах, на підвищення їхньої якості й виходу придатного продукту.

Література

1. Швець, Е.Я. Определение эффективного коэффициента распределения примеси при выращивании монокристалла [Текст] / Е.Я. Швець // Теория и практика металлургии. – 2007. – № 4. – С. 31-35.
2. Швець, Е.Я. Моделирование распределения примеси бора в процессе выращивания монокристаллов кремния [Текст] : зб. наук. пр. / Е.Я. Швець, О.П. Головкин, В.С. Баев, Ю.В. Головкин // Металлургия. – Запоріжжя: ЗДІА, 2007. – Вип. 16. – С. 59 – 63.
3. Швець, Е.Я. Математичне моделювання розподілу летучої домішки у процесі вирощування монокристалів кремнію [Текст] / Е.Я. Швець, Ю.В. Головкин // Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. – Житомир: ЖДТУ, 2008. – №4 (47). – С. 131-135.
4. Швець, Е.Я. Исследование массообмена кислорода в процессе выращивания монокристаллов кремния по методу Чохральского [Текст] / Е.Я. Швець, Ю.В. Головкин // Теория и практика металлургии, 2008. – № 4-5 (65). – С. 3-7.
5. Швець, Е.Я. Исследование распределения углерода между расплавом, твердой и газовой фазами в процессе выращивания монокристаллов кремния [Текст] : зб. наук. пр. / Е.Я. Швець, Ю.В. Головкин // Металлургия. – Запоріжжя: ЗДІА, 2008. – Вип. 17. – С. 104-108.
6. Головкин, Ю.В. Модернизация тепловой системы для выращивания монокристаллов кремния [Текст] / Ю.В. Головкин, А.С. Голев, А.Б. Комаров, Е.Я. Швець, С.Г. Егоров, Р.Н. Воляр // Теория и практика металлургии, 2008. – №2 (63). – С.20-23.
7. Швець, Е.Я. Исследование распределения углерода между расплавом, твердой и газовой фазами в процессе выращивания монокристаллов кремния [Текст] : зб. наук. пр. / Е.Я. Швець, Ю.В. Головкин // Металлургия. – Запоріжжя: ЗДІА, 2008. – Вип. 17. – С. 104-108.
8. Швець, Е.Я. Залежність коефіцієнта розподілу домішок у монокристалі кремнію від швидкості його вирощування [Текст] : зб. наук. пр. / Швець Е.Я., Головкин Ю.В. // Металлургия. – Запоріжжя: ЗДІА, 2011. – Вип. 24. – С. 113 -116.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ В ПРОЦЕССЕ ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ

Ю. В. Головкин

В статье на основании экспериментальных исследований и разработанных математических моделей показано, что величина эффективного коэффициента распределения углерода уменьшается при накоплении примеси углерода в расплаве в процессе кристаллизации

Ключевые слова: кремний, примесь, эффективный коэффициент распределения

Юрий Викторович Головкин, доцент кафедры физической и биомедицинской электроники, Запорожская государственная инженерная академия, тел. (0612) 52-14-69, e-mail: derek-50@bk.ru

IMPURITY SEGREGATION DURING GROWTH OF SILICON SINGLE CRYSTALS

Y. Golovko

In article on the basis of experimental researches and the developed mathematical models it is shown, that the size of effective segregation coefficient of carbon impurity decreases at accumulation of carbon in silicon melt during crystallization

Keywords: silicon, impurity, effective segregation coefficient

Yury Golovko, senior lecturer of Department of Physical and Biomedical Electronics, Zaporozhye engineering academy, tel. (0612) 52-14-69, e-mail: derek-50@bk.ru